

塩害土壤의 除塩에 관한 基礎理論(Ⅱ)

具 滋 雄*

3. 塩害土壤의 診斷 및 處理方法

塩害土壤이 塩類土壤, 塩類알칼리土壤, 非 塩類알칼리土壤中 어느 土壤의 特性을 가지고 있는가를 알아보기 위하여 測定하고 調査해야 할 事項과 處理方法을 살펴보고, 塩害土壤에 豫想되는 問題點과 이러한 問題點을 解決하기 위한 一般的인 對策을 簡略하게 記述하고자 한다.

가. 測定·調査事項 및 方法

土層別로 土壤試料를 採取하여 완전히 氣乾시킨 후 2mm체를 통과할 수 있도록 粉碎한 다음 均一하게 섞어서 供試土壤으로 使用하여 다음 事項을 測定 또는 調査한다.

① 土性(Soil Texture)

比重計 및 체分析方法에 의한 粒度分析을 통하여 土壤의 粘土質, 실트質, 砂質의 成分比에 따른 土性을 調査한다. 粘土의 分散率은 塩分濃도에 따라 敏感하게 變化하고, 粘土分散에 의한 土壤孔隙의 閉鎖現象은 透水性을 減少시키는 主된 原因이 되므로 土性은 除塩效果에 큰 影響을 미치게 된다.

② 水理傳導度(HC)

塩害土壤의 透水性은 보통 Darcy 法則의 透水係數로 表示되는 水理傳導度로서 나타내고 있으며, 室内實驗을 통하여 水理傳導度를

算定하기 위해서는 一定한 水位를 維持할 수 있도록 Mariotte flask를 設置한 Fig. 3-1과 같은 浸出實驗裝置를 利用하여 浸出經過時間과 浸出量을 測定한 후 다음과 같이 誘導되는 (3-4)式을 適用한다.

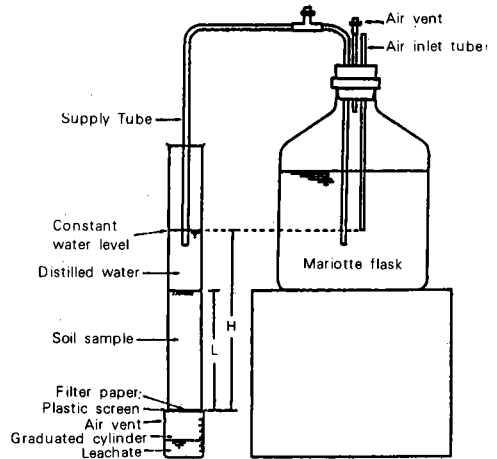


Fig. 3-1. Apparatus for determining hydraulic conductivity

Darcy 法則으로부터

$$V=KI \dots \dots \dots (3-1)$$

여기에서 V는 土壤內的 浸出流速, K는 透水係數, I는 動水傾斜이다.

$$\text{또한 } Q/T=VA \dots \dots \dots (3-2)$$

*全北大學校 農科大學

$$I = H/L \dots\dots\dots (3-3)$$

로 쓸 수 있으며, (3-3)式을 (3-1)式에 代入하고 (3-1)式을 다시 (3-2)式에 代入한 다음 K 에 關하여 整理하면

$$K = QL/AHT \dots\dots\dots (3-4)$$

로 表示되며, 여기에서 K 는 Darcy 法則의 透水係數로서 平均水理傳導度 HC (cm/hr) 를 뜻하게 되며, Q 는 浸出液의 부피 (cm³), L 은 浸出되는 土壤깊이 (cm), A 는 土壤의 斷面積 (cm²), H 는 水頭差 (cm), T 는 浸出時間 (hr) 이다.

③ 電氣傳導度 (EC)

鹽害土壤의 鹽類含量을 測定하여 鹽分濃度를 나타내는데는 電氣傳導度가 가장 普遍的으로 使用되며, 一般的으로 電位差測定法에 의하여 飽和抽出液의 電氣傳導度 (ECe) 로 表示한다. 충분한 飽和抽出液을 얻기 위해서는 眞空이나 壓力을 利用한 吸入濾過器를 使用해야 하는 不便이 있으며 時間과 努力이 많이 든다. 吸入濾過器를 使用하지 않고 反復處理등 迅速한 結果를 얻기 위해서는 土壤과 물의 重量化가 1:1, 1:2 및 1:5 인 懸濁液으로부터 쉽게 얻을 수 있는 抽出液의 電氣傳導度를 測定하고 飽和抽出液의 電氣傳導도와 比較分析하여 使用하기도 한다.

④ 土壤反應 (pH)

土壤의 反應을 나타내는 一般의인 方法으로 pH 값을 使用하여, 飽和土壤페이지의 pH 값을 基準으로 하여 鹽害土壤을 分類하고 있지만, 편의상 土壤과 물의 重量比가 1:1, 1:2 및 1:5 인 懸濁液으로부터 얻은 抽出液의 pH 값을 比較檢討하여 使用하는 경우가 많다. pH 값에 影響을 미치는 것으로 알려져 있는 土壤特性에는 置換性陽이온과 可溶性鹽類의 成分 및 濃度, 置換複合體의 性質, 石膏 또는 알칼리족炭酸鹽의 存在與否 등이 包含된다.

⑤ 置換性陽이온 (Exchangeable Cation)

鹽害土壤에 含有되어 있는 주된 陽이온은 Na⁺, K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺ 등으로 암모니움아세테이트 溶液에 의하여 抽出한 抽出性陽이

온으로부터 飽和抽出液의 可溶性陽이온을 빼어서 置換性陽이온을 算定한다. 大體的으로 Mg⁺⁺ 과 Ca⁺⁺ 은 EDTA 適定法, Na⁺ 과 K⁺ 은 炎光分析法에 의하여 測定하는 것이 便利하다.

⑥ 置換性나트륨百分率 (ESP)

鹽害土壤의 알칼리性を 支配하는 주된 陽이온인 置換性나트륨의 相對的인 量을 나타내는데는 보통 置換性나트륨百分率로 表示하는데, 이것은 土壤에 含有되어 있는 直換性나트륨量을 陽이온置換에 의하여 吸着할 수 있는 總陽이온의 量 즉 土壤이 保有할 수 있는 置換性陽이온의 總量인 陽이온置換容量 (CEC) 으로 나누어 100倍한 것이다. 때로는 나트륨 吸着率 (SAR) 을 算定한 다음 置換性 나트륨百分率로 換算하여 使用하는 경우도 있다.

⑦ 其他

假比重과 眞比重을 測定하여 孔隙率을 算定하고, 飽和土壤의 水分含有率인 飽和百分率을 算定함과 아울러 有機物含量 등을 測定하여 두면 鹽害土壤의 特性 및 除鹽效果를 分析함에 있어 補助資料로서 有用하게 使用될 수 있다.

나. 鹽害土壤의 改良을 위한 基礎處理過程

鹽害土壤의 特性을 分析하고 鹽害土壤을 改良함에 따른 問題點을 導出하여 處理하는 過程을 圖示하면 Fig. 3-2와 같으며 이것을 項目別로 略述하면 다음과 같다.

① 土性

粒度分析에 의하여 土壤試料의 土性を 分類하고 粘土含有量을 比較檢討하여 鹽害土壤의 特性 및 除鹽效果를 分析하는 基準을 세우는데 基礎資料로 活用한다.

② 水理傳導度 및 置換性나트륨百分率

土壤이 透水性和 置換性나트륨百分率이 鹽害土壤의 特性에 미치는 影響과 이에 따른 處理方法을 考察하기 위하여 우선 水理傳導度を 算定하고 경우에 따라 抽出性 나트륨含量, 置換性나트륨含量, 陽이온置換容量 등을 測定하여 置換性나트륨 百分率을 算定한다.

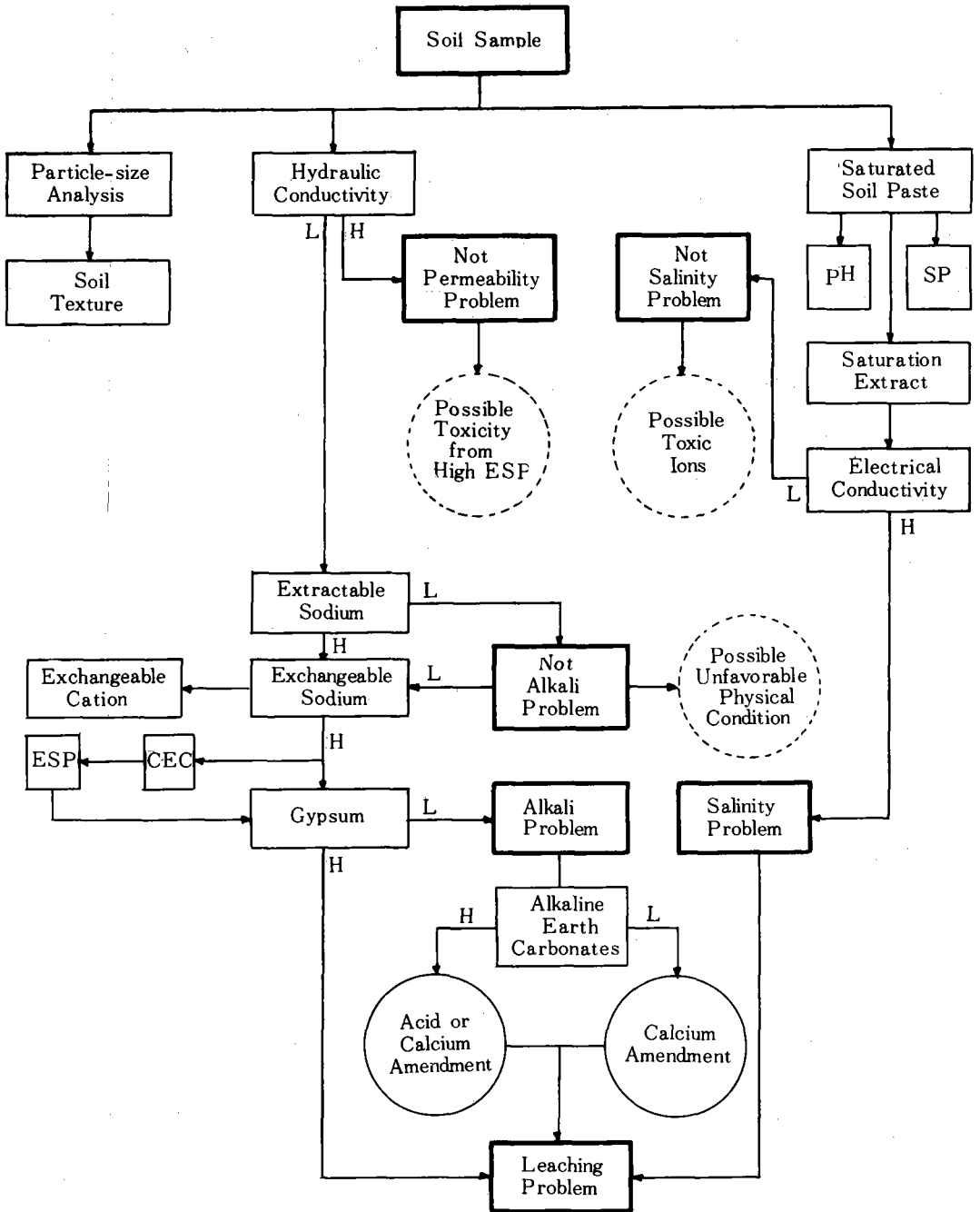


Fig. 3-2. Sequence of determinations for the diagnosis and treatment of salt-affected soils.
 H: High, L: Low, ESP: Exchangeable Sodium Percentage, CEC: Cation Exchange Capacity,
 SP: Saturation Percentage

1) 水理傳導도가 높은 경우

大部分의 土壤에서 水理傳導도가 높으면 置換性나트륨含量이 많지 않으며 透水性에는 問題가 없는 것으로 알려져 있지만, 砂質이나 泥炭土등과 같은 粗粒質土壤은 水理傳導도가 높을 때 置換性나트륨을 많이 含有하고 있는 경우가 있으므로 이점에 留意해야 한다.

2) 水理傳導도가 낮은 경우

암모니움아세이트溶液에 의하여 抽出한 抽出性나트륨含量을 測定하고, 抽出性나트륨含量이 많으면 置換性나트륨含量 및 陽이온 置換容量을 測定하여 置換性나트륨 百分率을 算定한다.

a) 抽出性나트륨含量이 적거나 또는 抽出性나트륨含量이 많더라도 置換性나트륨含量이 적으면 알칼리性으로 因한 問題는 없다. 이 경우 水理傳導도가 낮은 것은 土性에 根本적으로 나쁜 影響을 미치는 物理的條件, 낮은 有機物含量 및 粘土分散現象에 의한 結果라고 볼 수 있다. 이러한 土壤에서는 粒度分析 및 有機物含量을 測定하여 有用한 資料를 얻을 수 있다.

b) 抽出性나트륨含量과 置換性나트륨含量이 많으며 大體的으로 置換性나트륨百分率이 15%以上으로 되어 알칼리性에 의한 나쁜 影響을 받는 경우에는 土壤內에 含有되어 있는 石膏등과 같은 칼슘成分物質의 既存量을 測定한다. 만약 칼슘成分物質이 많이 含有되어 있으면 土壤改良劑를 添加하지 않고 除塩을 實施하며, 칼슘成分物質이 含有되어 있지 않거나 적게 含有되어 있으면, 土壤改良劑를 供給한 후 除塩을 實施한다. 또한 使用할 土壤改良劑의 種類를 決定하기 위하여 알칼리족 炭酸塩의 存在與否를 確認한다.

③ 電氣傳導度

飽和土壤 케이스트로부터 飽和抽出液을 採取하여 電氣傳導度を 測定한다. 電氣傳導도가 낮으면 過多한 可溶性塩類에 의한 問題點은 없다고 볼 수 있으나 土壤에 해로운 影響을 미치는 이온이 存在하고 있는지를 檢討해

볼 必要性이 있다. 電氣傳導도가 4mmhos/cm 以上이 되면 可溶性塩類가 過多하게 含有되어 있어 土壤에 나쁜 影響을 미친다고 判斷할 수 있으며 이 경우에는 溶脫方法에 의하여 過多한 可溶性塩類를 減小시킬 수 있다.

④ pH

溶脫方法으로 鹽害土壤을 改良하는 過程에서 可溶性塩類의 含量이 減少되면 置換性나트륨의 加水分解率이 增加되어 알칼리性이 강해지기 때문에 pH값이 增加하는 경우가 생기며, 반면에 石膏등과 같은 土壤改良劑를 施用함으로써 置換性나트륨을 減少시키고 土壤構造를 發達시켜 透水性을 良好하게 하며 알칼리性을 낮출 수 있기 때문에 pH값을 低下시킬 수 있다. 따라서 이점을 考慮하여 pH값이 鹽害土壤基準值 以上으로 되지 않도록 處理해야 한다.

⑤ 用水管理方法

土壤內의 塩分을 溶脫시켜서 鹽害土壤을 改良하는 代表的인 用水管理方法으로는 浸出法과 水洗法을 들 수 있다.

여기서 浸出法은 土壤孔隙內로 물을 浸出시켜 주로 擴散과 滲透水에 의하여 塩分을 溶脫시키는 除塩方法을 말하고, 水洗法은 深耕과 아울러 せ레질등으로 土壤과 물을 완전히 뒤섞어 換水시킴으로써 주로 稀釋作用에 의하여 塩分을 溶脫시키는 除塩方法을 意味한다. 本來 透水性이 良好한 土壤이나 또는 不透水性 土壤이라 할지라도 適切한 土壤改良劑를 施用함으로써 어느정도까지 透水性을 높일 수 있는 土壤에서는 浸出法이 效果의 일 수 있으나 극히 많은 粘土含量 또는 다른 特性에 의하여 土壤改良劑를 供給하여도 浸出이 전혀 不可能하거나 透水性이 매우 不良한 경우 特別한 排水施設이 없으면 浸出法에 의한 除塩效果를 期待하기는 어렵다. 따라서 이러한 경우에는 經濟性을 勘案하여 特別한 排水施設이 없어도 除塩作業이 可能한 水洗法을 使用하거나 또는 浸出法과 水洗法을 併用하여 鹽害土壤을 改良하는 方法을 比較檢討하여 效率的인 方法을 選擇하는 것이 바람직하다.

4. 除塩過程을 分析하기 위한 理論式

물을 供給하여 土壤內의 塩分을 溶脱 시킴으로써 塩害土壤을 改良하는 경우 除塩過程을 理論的으로 分析하거나 豫測하기 위하여 利用되는 몇가지 理論式을 紹介하고자 한다.

가. 塩分收支式

塩分收支란 灌溉用水와 더불어 灌溉土壤內로 供給되는 塩分量과 排水水에 의해서 灌溉土壤 밖으로 除去되는 塩分量과의 關係라고 定義되며, 灌溉用水나 排水水 以外의 다른原因에 의하여 移動되는 塩分量 및 土壤內의 塩分變化量을 考慮하여 塩分收支式(Salt Balance Equation)을 나타내면 一般的으로 다음과 같이 쓸수 있다.

$$V_i C_i + V_g C_g + S_m + S_r = V_d C_d + S_p + S_c + \Delta S_s + \Delta X_c \dots\dots\dots (4-1)$$

여기에서

V_i, V_d, V_g : 各各 灌溉用水量, 排水水量 및 根域까지 上昇한 地下水量

C_i, C_d, C_g : 各各 灌溉用水의 塩分濃度, 排水水의 塩分濃度 및 地下水의 塩分濃度

S_m : 風化土壤에 의하여 土壤溶液으로 供給되는 塩分量

S_r : 肥料, 土壤改良劑등에 의하여 土壤溶液으로 供給되는 塩分量

S_p : 土壤溶液속으로 沈澱되어 내려가는 塩分量

S_c : 作物에 의하여 土壤으로부터 除去되는 塩分量

ΔS_s : 土壤內 可溶性塩類의 變化量

ΔX_c : 土壤內 置換性陽이온의 變化量

나. 溶脱用水量 算定式

溶脱用水量(Leaching Requirement)은 土壤의 塩分濃度を 어느 一定한 값 以下로 維持하고 作物의 收穫量減少를 防止하기 위해서 根域을 통해 浸出시켜야 하는 最少用水量으로 定義된다.

地域的으로 均一하게 灌溉用水를 供給하고 降雨가 없으며, 作物에 의하여 塩分이 除去되지 않고 可溶性塩類가 土壤속에서 沈澱되지

않는다는 假定아래 U.S.Salinity Laboratory에서 구한 溶脱用水量은 (4-2)式과 같이 比率로 表示되며, 이식을 基準으로 하여 排水水深에 대하여 整理하면 (4-3)式과 같다.

$$LR = \frac{D_d}{D_i} = \frac{EC_i}{EC_d} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$D_d = \frac{D_c}{1-LR} \cdot LR = \frac{EC_i}{EC_d - EC_i} \cdot D_c \dots\dots\dots (4-3)$$

여기에서

LR : 溶脱用水量

D_i, D_d : 灌溉水深 및 排水水量的 等價水深
 EC_i, EC_d : 灌溉用水의 電氣傳導度 및 排水水의 電氣傳導度

D_c : 作物에 의한 消費水量的 等價水深

塩分收支式을 根據로 하여 誘導된 溶脱用水量 算定式이 여러學者들에 의하여 發表되었으며 그 代表的인 式을 들면 다음과 같다.

$$R^* = (E - P) \cdot \frac{EC_i}{2f EC_e - EC_i} \text{ 또는}$$

$$R^* = I \cdot \frac{EC_i}{2f EC_e} \text{ (By J. H. Bouman)} \dots\dots (4-4)$$

$$R^* = (E - P) \cdot \frac{EC_i}{f(2EC_e - EC_i)} \text{ (By W. H. Van Der Molen)} \dots\dots (4-5)$$

$$R^* = \frac{EC_i}{f(5EC_e - EC_i)} \text{ (By Ayers \& Westcot)} \dots\dots (4-6)$$

여기에서

R^* : 溶脱用水量

E : 蒸發散量

P : 有効雨量

I : 灌溉用水量

EC_i : 灌溉用水의 電氣傳導度

EC_e : 飽和抽出液의 電氣傳導度

f : 溶脱效率係數로서 排水水의 塩分濃도와 土壤溶液의 塩分濃度 사이의 比

$$(0 < f \leq 1)$$

다. 除塩을 위한 灌溉用水量 算定式

U. S. Salinity Laboratory에서 發表한 溶脫用水量의 概念(4-2)과 作物에 의한 消費水量에 대한 資料를 使用하여 土壤의 塩分濃度가 어떤 特定한 값을 넘지 않도록 供給해야 하는 灌溉用水量을 算定하는 式을 구하면 다음과 같다.

$$D_i = \frac{D_c}{(1-LR)} = \left(\frac{EC_a}{EC_e - EC_i} \right) \cdot D_c \dots (4-7)$$

塩分収支式을 根據로한 溶脫用水量 算定式을 利用하여 灌溉用水量 算定式을 誘導하면 다음과 같다.

$$I = (E - P) \left\{ 1 + \frac{EC_i}{2f EC_e - EC_i} \right\}$$

(By J. H. Bouman) (4-8)

$$I = (E - P) \left\{ 1 + \frac{EC_i}{f(2EC_e - EC_i)} \right\}$$

(By W. H. Van Der Molen) (4-9)

$$I = \frac{E - P}{1 - \frac{EC_i}{f(5EC_e - EC_i)}}$$

(By Ayers & Westcot) (4-10)

R. C. Reeve등은 除塩을 위한 灌溉用水量을 算定하기 위하여 除塩에 必要한 單位土壤 浸出水深의 比를 算出하는 다음과 같은 公式을 塩類土壤과 알칼리性土壤別로 提案하였다.

$$\frac{D_i}{D_s} = \frac{(EC_e)_i}{5(EC_e)_f} + 0.15 \text{ (塩類土壤)} \dots (4-11)$$

$$\frac{D_i}{D_s} = \frac{\rho CEC}{F} \cdot \frac{\Delta(ESF)}{\Delta(Ca+Mg)}$$

(알칼리性 土壤) (4-12)

여기에서

D_i : 浸出水深

D_s : 除塩을 위한 土深

$(EC_e)_i$: 最初 飽和抽出液의 電氣傳導度

$(EC_e)_f$: 最終 飽和抽出液의 電氣傳導度

ρ : 假比重

CEC : 陽이온置換容量

$\Delta(ESF)$: $ESF (= ESP/100)$ 의 減少量

$\Delta(Ca+Mg)$: $(Ca+Mg)$ 의 減少量

F : 有效係數

라. 其他 溶脫過程解析을 위한 理論式

J. H. Bouman등은 塩害土壤의 溶脫過程을 分析하기 위한 다음과 같은 微分方程式을 發表하였다.

$$T \cdot M \cdot dC_{sm} = dI \cdot C_i - dP \cdot C_p \dots (4-13)$$

여기에서

T : 土壤 깊이

M : 土壤水分含量

C_{sm} : 土壤水分의 塩分濃度

I : 灌溉用水量

C_i : 灌溉用水의 塩分濃度

P : 浸出水量

C_p : 浸出水의 塩分濃度

W. H. Van Der Molen 등은 塩分収支와 溶脫用水量의 關係로부터 除塩過程을 豫測할 수 있는 다음과 같은 塩分貯溜方程式을 誘導하였다.

$$\Delta Z = \frac{K - LZ_1}{M} \dots (4-14)$$

여기에서

$K = IEC_i - (1-f) R^* EC_i$

$L = fR^*/W_{fc}$

$M = 1 + 0.5L$

ΔZ : 塩分濃度の 变化量

I : 灌溉用水量

EC_i : 灌溉用水의 電氣傳導度

f : 溶脫效率係數

R^* : 溶脫用水量

W_{fc} : 圃場容水量

Z_1 : 土壤의 初期塩分濃度